

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 473 168**

A2

**DEMANDE  
DE CERTIFICAT D'ADDITION**

(21)

**N° 80 00451**

Se référant : au brevet d'invention n° 79 06206 du 12 mars 1979.

(54)

Capteur différentiel linéaire à courants de Foucault servant à mesurer les petits déplacements d'une pièce métallique.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 B 7/00; G 01 L 9/00, 13/00.

(22)

Date de dépôt..... 7 janvier 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 28 du 10-7-1981.

(71)

Déposant : EFFA ETUDES, résidant en France.

(72)

Invention de : Alain Rousseau et François Ramel.

(73)

Titulaire : *Idem* (71).

(74)

Mandataire : Cabinet Moutard,  
9, square Copernic, résidence Iéna, 78150 Le Chesnay.

Certificat(s) d'addition antérieur(s) :

- 1 -

L'addition se rapporte aux capteurs de déplacements ou d'approche à courants de Foucault.

Ceux-ci, généralement destinés à la mesure de dimensions ou de comptage de pièces métalliques sont, dans l'art antérieur, 5 constitués par un oscillateur dont les enroulements représentent la face sensible. Le passage d'une masse métallique conductrice dans le champ magnétique alternatif créé par l'oscillateur a pour effet d'engendrer des courants induits dans la masse métallique. L'oscillateur est réglé de telle manière que la charge supplémen- 10 taire qui en résulte arrête son fonctionnement : le dispositif est donc un détecteur de proximité et non un capteur fournissant un signal linéaire en fonction du déplacement.

La présente invention se propose de réaliser un capteur linéaire apte à mesurer des déplacements très faibles (ne dépassant 15 pas quelques mm), avec une résolution élevée (de l'ordre du 1/10e de micron par exemple), et une bonne insensibilité aux variations thermiques et aux parasites électriques. Un tel capteur, apte à effectuer des mesures industrielles (niveaux, débits, pressions ou autres) doit offrir une grande simplicité de fabrication et de mon- 20 tage.

Dans le brevet principal, on a décrit un capteur comportant deux bobines sensiblement identiques dont l'une au moins coopère avec une pièce conductrice dont il s'agit de mesurer les déplacements, des moyens d'appliquer à ces bobines, respective- 25 ment, en série avec deux résistances, des signaux rectangulaires à basse fréquence, des moyens de détecter les valeurs de crêtes des tensions respectivement recueillies aux points communs entre les bobines respectives et les résistances correspondantes et des moyens de déterminer la différence entre ces valeurs de crête, 30 ledit capteur étant caractérisé en ce que les deux bobines sont directement reliées à un point commun d'application desdits signaux, et qu'une diode de roue libre relie ledit point commun au point commun des résistances.

Suivant une caractéristique importante de l'addition, 35 ladite pièce est en métal non ferromagnétique, ce qui rend la caractéristique du capteur sensiblement indépendante de la température.

L'addition concerne encore divers perfectionnements per- 39 mettant de réduire la dérive thermique d'un tel capteur.

Suivant un mode d'exécution préféré de l'addition, lesdits signaux rectangulaires sont engendrés par un multivibrateur et appliqués à la base d'un transistor reliant le point commun des deux bobines à la masse, une tension continue de référence 5 étant appliquée au point commun des résistances.

D'autres particularités, ainsi que les avantages de l'addition apparaîtront clairement à la lumière de la description ci-après.

Au dessin annexé :

10 La figure 1 représente schématiquement un dispositif capteur conforme au brevet principal ;

La figure 2 représente un premier mode d'exécution de l'organe capteur proprement dit, avec ses deux bobines en regard d'une pièce métallique unique ;

15 La figure 3 représente une variante dans laquelle les deux bobines sont disposées en regard de deux pièces métalliques distinctes ;

La figure 4 est un schéma d'un circuit détecteur de crête apte à être utilisé dans le dispositif de la figure 1 ;

20 La figure 5 représente une forme d'exécution préférée, conforme à l'addition, du dispositif capteur de la figure 1 ;

La figure 6 représente des formes d'ondes destinées à illustrer le fonctionnement du dispositif ;

25 La figure 7 représente partiellement une première variante du montage de la figure 5, dans laquelle des diodes supplémentaires sont destinées à compenser l'influence de la température ; et

La figure 8 représente, vu en coupe, un troisième mode d'exécution de l'organe capteur proprement dit, plus particulièrement 30 lièrement destiné à la mesure des déplacements d'un poussoir.

A la figure 1, on a représenté deux bobines identiques 1 et 2, disposées dans deux demi-pots en ferrite 3 et 4 destinées à concentrer les lignes de champ dirigées vers deux pièces métalliques conductrices identiques 5 et 6, dont l'une est, par 35 exemple, fixe et l'autre est celle dont il s'agit de mesurer les déplacements. Ces pièces ont par exemple une épaisseur comprise entre 2/10<sup>e</sup> de mm et 1 mm.

Un générateur de créneaux 9 fournit des signaux rectangulaires de fréquence et de rapport cyclique déterminés, qui sont 39

appliqués aux bobines à travers des résistances de charge 7 et 8 respectivement.

Les points communs A et B aux résistances respectives et aux bobines correspondantes sont reliés aux deux entrées d'un amplificateur différentiel 12, par l'intermédiaire de deux circuits détecteurs de crête 10 et 11 respectivement. Une diode 13 dite "de roue libre" relie le point commun des bobines au point commun des résistances, de façon à permettre la décharge des bobines à travers les résistances, pendant les intervalles entre les crêteaux.

L'ensemble constitué d'une bobine et de sa résistance de charge constitue un montage intégrateur du signal rectangulaire de commande ; un tel montage est très insensible aux parasites électriques et possède une efficacité élevée. Un montage dérivateur fournissant des impulsions étroites de grande amplitude, ne serait pas satisfaisant en pratique.

Les valeurs respectives des résistances de charge  $R$ , de l'inductance  $L$  des bobines et de la fréquence  $f$  du signal, doivent être telles que  $3 \times L/R$  soit inférieur à  $f$ . Au-delà, apparaît un phénomène de saturation, les signaux recueillis tendant vers le signal de commande.

Le métal constitutif des pièces 5 et 6 est non ferromagnétique, par exemple, aluminium, bronze au béryllium ou acier inoxydable, tel que la nuance Z8CNT18. Les lignes de champ émises par chaque bobine développent à sa surface, selon la loi de Lenz, des courants induits qui tendent à ouvrir ces lignes de champ. Par conséquent, plus la pièce est proche de la bobine, plus l'inductance de la bobine décroît, d'où l'augmentation du signal de crête mesuré. Si le métal était ferromagnétique, il aurait tendance à refermer les lignes de champ et à faire croître l'inductance de la bobine en s'en approchant. L'expérience montre qu'il se développerait néanmoins sur un métal ferromagnétique des courants de Foucault, dont l'effet serait négligeable aux très basses fréquences pour devenir prépondérant aux plus hautes fréquences, de l'ordre de quelques centaines de kHz. Mais, contrairement à l'effet des courants de Foucault, l'effet propre aux métaux ferromagnétiques est très dépendant de la température, si bien que l'emploi d'un métal ferromagnétique doit être finalement exclu en pratique.

- 4 -

Le signal fourni aux bobines est un signal à basse fréquence, entre quelques kHz et quelques dizaines de kHz. On constate pour chaque métal un pic de sensibilité en fonction de la fréquence, et une évolution de cette sensibilité de part et d'autre du pic, dont l'explication semble très complexe. Pour l'aluminium par exemple, ce pic est à environ 30 kHz, la sensibilité chutant à partir de 50 kHz pour devenir nulle à 100 kHz.

Il est avantageux que les deux pièces soient constituées du même métal. En effet, les courbes de variation des deux tensions de crête recueillies en A et B en fonction du déplacement subiront alors la même évolution en fonction de la température, ce qui évite la présence d'une dérive thermique de la différence de ces deux tensions.

Le montage des bobines dans un circuit magnétique ouvert en ferrite a pour effet de supprimer l'influence de la température sur la structure des lignes de champ et sur l'inductance à vide des bobines, ce qui réduit encore les dérives thermiques du capteur.

On a symbolisé par une ligne en pointillés (35, respectivement 45), un écran constitué par une feuille d'un alliage de protection de la bobine contre des fluides éventuellement corrosifs. Un tel alliage devra avoir la propriété d'être entièrement transparent aux lignes de champ à la fréquence de fonctionnement du capteur. L'"Inconel" possède de telles propriétés.

Pour un déplacement donné d'une pièce d'un métal donné, il est toujours possible d'obtenir un signal linéaire en fonction du déplacement en jouant sur la disposition des bobines et sur le rapport cyclique du signal. En pratique, on règle principalement la distance de chaque bobine à la pièce métallique correspondante pour que le fonctionnement intervienne autour d'un point approprié de la courbe représentative de la tension de crête en A (respectivement en B) en fonction de la distance : pour cette zone de fonctionnement la tension différentielle sera sensiblement linéaire en fonction du déplacement. Cet ajustement du montage est plus aisé et la dérive thermique est plus réduite lorsque les bobines présentent sensiblement le même rapport entre l'inductance et le carré du nombre de spires (c'est en fait ce que l'on a voulu exprimer en disant qu'elles doivent être "sensiblement" identiques).

- 5 -

La figure 2 représente en coupe un capteur destiné à mesurer le déplacement d'une pièce conductrice unique 20 (en aluminium, par exemple) sous l'effet d'une différence de pression de part et d'autre d'une membrane en élastomère 21 dont elle est solidaire. Deux bobines 22 et 23 sont placées de part et d'autre de la pièce 20, dont l'amplitude maximale de déplacement est, à titre d'exemple, de 1 mm de part et d'autre de la position zéro, dans laquelle la pièce 20 est distante de 3 mm des bobines. On obtient dans ce cas un signal linéaire en fonction du déplacement, pour un rapport cyclique de 0,4 du signal rectangulaire (le montage électrique est celui de la figure 1).

La figure 3 représente en coupe un capteur mesurant le déplacement d'une capsule à soufflet 30, déplacement représentatif de la pression régnant dans cette capsule. Deux bobines 31 et 32 sont respectivement disposées en regard d'une rondelle d'aluminium, solidaire de la capsule et d'une autre pièce de même nature 34. Au repos, la pièce 33 est à une distance de l'ordre de 0,5 mm de la bobine 31 et, lorsqu'elle a subi son déplacement maximal, la pièce 33 est à une distance de l'ordre de 0,1 mm de la bobine 31. Le rapport cyclique du signal rectangulaire 10 qui donne un signal linéaire en fonction du déplacement est de 0,45 (le montage électrique est celui de la figure 1).

Comme on le voit à l'aide de ces exemples, la mise en oeuvre du capteur selon l'invention est simple, et sa fabrication aisée. Le principe différentiel de la mesure permet d'éviter un centrage très rigoureux des bobines par rapport à la (ou aux) pièce(s) métallique(s), les décalages étant corrigés par le réglage du point de fonctionnement exposé ci-dessus.

Le montage de la figure 3 est particulièrement apte à la réalisation d'un capteur de pressions élevées (de l'ordre de un à plusieurs dizaines de bars) ; pour de tels capteurs, il est usuel d'utiliser une capsule à soufflet telle que 30 et le déplacement à mesurer est très faible. La capsule est raccordée en dérivation sur la canalisation ou sur l'enceinte où règne la pression supérieure. L'enceinte 36 dans laquelle sont montés les organes du capteur communique avec la pression inférieure. Elle est réalisée de manière classique.

On notera que, dans le montage de la figure 2, la pièce 39 métallique 20 ne doit pas nécessairement se déplacer dans une

direction rigoureusement perpendiculaire à l'axe des bobines : si elle est par exemple constituée d'une lame encastrée à une extrémité dans l'une des parois de l'enceinte 24 ; en dépit du fait qu'une telle lame se déforme et ne subit pas un déplacement  
5 parallèle à l'axe des bobines, on constate que la différence des valeurs de crête des tensions correspondant aux deux bobines reste sensiblement proportionnelle au déplacement de l'extrémité libre de la lame.

Le montage de la figure 2 sera préféré dans la plupart  
10 des applications à cause de la linéarité de sa réponse. Dans l'exemple représenté, il peut être appliqué à la mesure de pressions différentielles très faibles, appliquées par les orifices 240 et 241 ménagés dans la paroi de l'enceinte. Toutefois, l'enceinte 24 pourra être aménagée pour laisser passer par exemple  
15 une tige (ou un autre corps) mobile dont une extrémité viendrait s'appuyer sur la lame encastrée à son extrémité libre et dont le capteur mesurerait alors le déplacement. Une telle disposition est décrite plus loin en se référant à la figure 8.

A la figure 4, on a représenté un circuit détecteur de  
20 valeur de crête utilisable pour traiter le signal provenant des bobines. Ce circuit comprend une diode 40, un condensateur 41 et une résistance 42. Le signal émis par ce circuit est égal à la valeur de la crête du signal d'entrée, moins la chute de tension causée par la diode, soit par exemple 0,6 V. La capacité C et la  
25 résistance R des composants 41 et 42 doivent être telles que RC soit par exemple 4 à 5 fois supérieur à la période  $1/f$  du signal, de façon à obtenir un signal continu à la sortie du détecteur.

A la figure 5, où l'on retrouve les mêmes composants qu'à la figure 1, affectés des mêmes numéros de référence, le  
30 générateur 9 est constitué par un multivibrateur 90; qui engendre des signaux rectangulaires (a, figure 6) aptes à débloquer périodiquement un transistor 91. Lorsque ce dernier est bloqué, les inductances se déchargent à travers la diode 13, si bien que la tension entre les bornes du transistor (forme d'onde b en  
35 trait plein, figure 6) est égale à la tension continue de référence  $V_r$  (de 8 Volts par exemple), augmentée de la chute de tension  $V_D$  aux bornes de la diode. Lorsque le transistor conduit, la tension entre ses bornes tombe à une valeur très faible et  
39 bien définie.

L'amplitude des crêneaux inversés  $b$  est donc parfaitement définie. La tension entre le point A (ou B) et la masse, appliquée au détecteur de crête (10 ou 11) est figurée en pointillé en  $b$ .

5 Pendant les intervalles de conduction du transistor, les inductances se chargent à travers les résistances, tandis qu'elles se déchargent, dans le même sens, à travers la diode 13 pendant les intervalles de blocage.

A la figure 7, on a reproduit partiellement une variante  
10 du circuit de la figure 5 : on voit que deux diodes 70-71 sont insérées entre la source  $V_r$  et le point d'alimentation des résistances 7 - 8, qu'une diode 72 est insérée entre l'émetteur du transistor 91 et la masse, et qu'une diode de Zener 73 est insérée entre la diode 71 et la diode montée en sens inverse 13. On  
15 va tout d'abord expliquer comment les diodes 70 - 71 et 72 permettent une compensation de l'influence de la température sur le résultat de la mesure. En cas d'élévation de la température, on constate qu'avec le circuit de la figure 5, la tension engendrée à la sortie de l'amplificateur 12, pour un déplacement donné de  
20 la pièce métallique, diminue (du fait que  $V_r$  diminue). Lorsque le capteur sert à mesurer des pressions élevées et est réalisé conformément à la figure 3, cette perte de gain peut être compensée par l'augmentation du déplacement qui correspond à une pression donnée, augmentation due à une réduction du module  
25 d'élasticité du métal de la capsule 30 provoquée par l'élévation de température.

Par contre, avec le montage de la figure 2, le déplacement de la pièce métallique 20 est pratiquement indépendant de la température, celle-ci étant thermiquement liée au boîtier  
30 du capteur. Il est alors nécessaire de compenser l'influence de la température, ce qui sera avantageusement obtenu en faisant croître en même temps que la température, la tension de charge de chaque bobine à travers la résistance correspondante.

Un premier moyen d'obtenir ce résultat consiste à  
35 ajouter à la tension fixe de référence  $V_r$  une tension auxiliaire croissante en fonction de la température, ou de stabiliser la tension  $V_r$  en température, ce qui peut être réalisé par des moyens connus.

39 Un second moyen consiste à utiliser la diode 72, dont



le rôle est de faire décroître, lorsque la température croît, l'amplitude qui correspond au seuil bas des crêneaux b, figure 6 (cette amplitude correspond à la chute de tension aux bornes de la diode) : il en résulte une augmentation de la tension de

5 crête recueillie en A et en B. Autrement dit, en même temps que la tension différentielle, on augmente le "mode commun", ce qui est un inconvénient, du point de vue des dérives thermiques, dans son élimination par l'amplificateur différentiel 12.

Une troisième solution consiste à utiliser une ou plu-  
10 sieurs diodes telles que 70 - 71, figure 7, ce qui a pour effet de réduire la tension appliquée au point d'alimentation des résistances 7 et 8, d'une valeur qui décroît lorsque la température croît. On pourra, naturellement, combiner la seconde et la troisième solutions.

15 A titre d'exemple, en utilisant une tension  $V_r$  de 8 V, un capteur du type décrit, fonctionnant à la fréquence de 80 kHz, donnera un signal de sortie de 600 mV (avant amplification) pour un déplacement de 1 mm. Ce rendement très élevé permet de l'affranchir des problèmes d'offset à l'amplification.

20 L'insertion d'une diode de Zener (73, figure 7), en élevant notablement le seuil haut des crêneaux (b, figure 6), a encore pour effet de multiplier ce rendement par deux environ.

A la figure 8, on a représenté, vu en coupe, un capteur  
25 destiné à mesurer les déplacements d'un poussoir 80 qui se déplace dans une butée réglable 81 solidaire du corps inférieur 82 du capteur. Entre le corps inférieur 82 et le corps supérieur 83 est encastrée par une extrémité une lame métallique 84 dont l'extrémité libre suit les déplacements du poussoir 80. Deux bobines 85 et 86 sont disposées de part et d'autre de cette lame et  
30 font partie d'un montage électronique analogue à ceux qui ont été décrits ci-dessus. Ce montage peut être logé dans la cavité 87 formée par le corps supérieur et fermée par un couvercle 88. La plaque 6 est par exemple en bronze au béryllium, et a une épaisseur de 0,25 mm.

35 Il va de soi que diverses variantes d'exécution pourront être imaginées par l'homme de l'art, sans s'écarter de l'esprit de l'addition.

REVENDECATIONS

1- Capteur de déplacement comportant deux bobines sensiblement identiques dont l'une au moins coopère avec une pièce conductrice dont il s'agit de mesurer les déplacements, des moyens d'appliquer à ces bobines, respectivement en série avec deux résistances, des signaux rectangulaires à basse fréquence, des moyens de détecter les valeurs de crêtes des tensions respectivement recueillies aux points communs entre les bobines respectives et les résistances correspondantes et des moyens de déterminer la différence entre ces valeurs de crête, les deux bobines étant directement reliées à un point commun d'application desdits signaux, et une diode de roue libre reliant ledit point commun au point commun des résistances, caractérisé en ce que ladite pièce est en métal non ferromagnétique.

2- Capteur de déplacement selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits signaux rectangulaires sont engendrés par un multivibrateur et appliqués à la base d'un transistor reliant le point commun des deux bobines à la masse, une tension continue de référence étant appliquée au point commun des résistances.

3- Capteur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par un écran protecteur constitué par un alliage résistant aux fluides corrosifs et dépourvu d'influence sur les lignes de champ, interposé entre chaque bobine et la pièce conductrice.

4- Capteur selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les deux bobines sont montées de part et d'autre d'une pièce conductrice unique qui subit le déplacement à mesurer, caractérisé en ce que ladite pièce est une lame encastrée à une extrémité et libre à son autre extrémité.

5- Capteur selon la revendication 2, caractérisé par une diode reliée en série entre ledit transistor et la masse.

6- Capteur selon la revendication 2 ou 5, caractérisé par au moins une diode reliant la tension de référence au point commun des résistances.

7- Capteur selon la revendication 2, 5 ou 6, caractérisé par une diode de Zener reliant le point commun des résistances à la diode de roue libre.

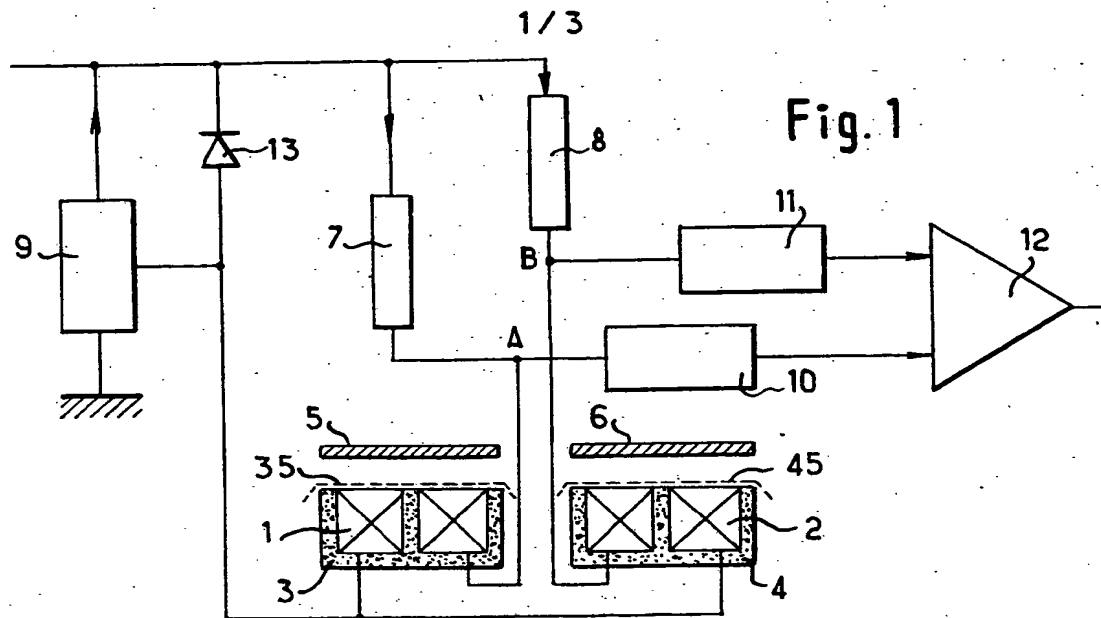


Fig. 2

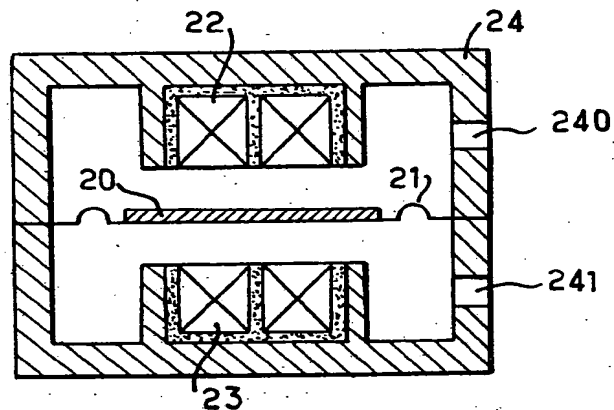
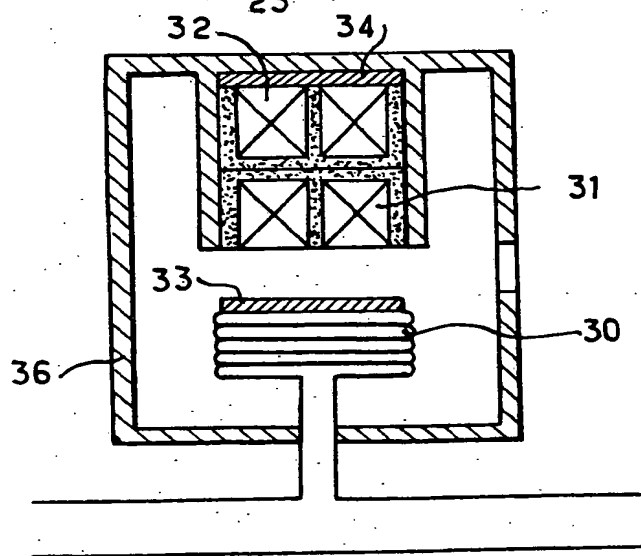
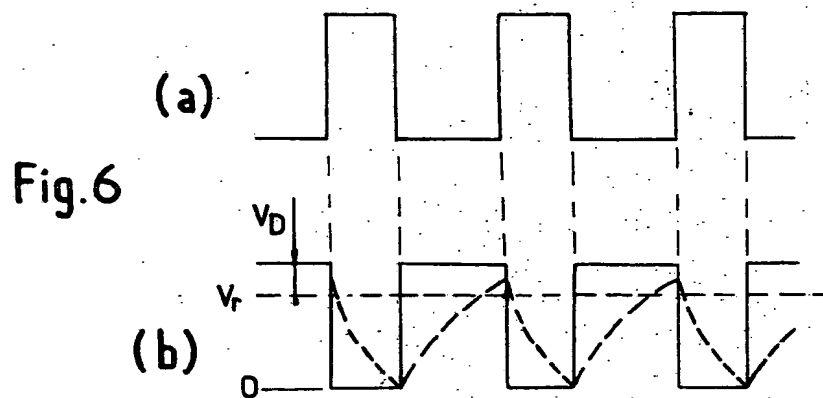
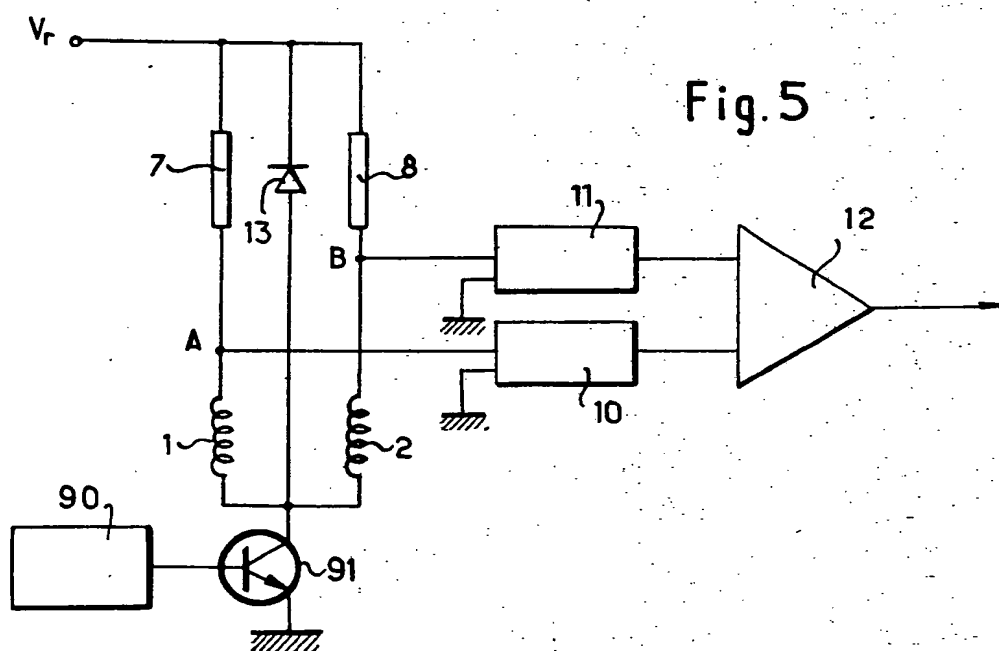
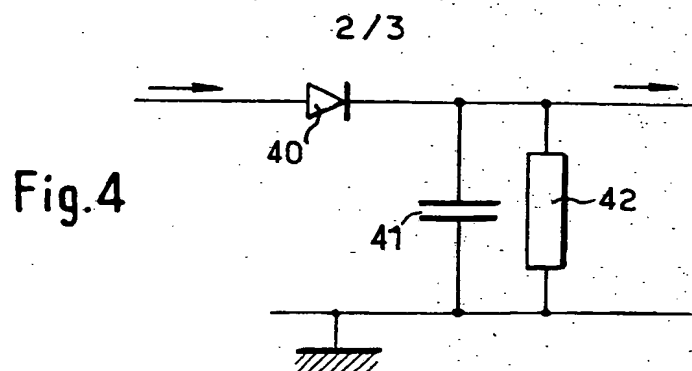


Fig. 3





3 / 3

Fig. 7

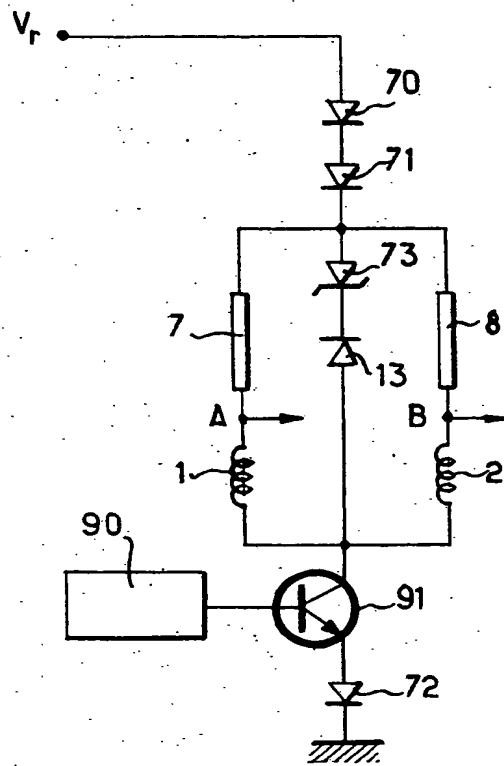


Fig. 8

